

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže



Zefektivnění výroby typové součásti

Type Component Production Reengineering

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.

Student:

Luboš Roza

Ostrava 2011

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání bakalářské práce

Student: **Luboš Roza**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Specializace: 70 Strojírenská technologie
Téma: **Zefektivnění výroby typové součásti**
Type Component Production Reengineering

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Rozbor stávající technologie výroby typové součásti.
3. Návrh nové technologie výroby typové součásti.
4. Technicko-ekonomické zhodnocení navrhovaného řešení.
5. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] KOCMAN, K.; PROKOP, J. *Technologie obrábění*. Brno : Akademické nakladatelství CERM s.r.o. Brno. 2001, 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
- [2] VASILKO, K.; NOVÁK-MARCINČIN, J.; HAVRILA, M. *Výrobné inžinierstvo*. Prešov : Datapress Prešov. 2003, 424 s. ISBN 80-7099-995-0.
- [3] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábani*. Žilina : EDIS Žilina, 2007. s. 343. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [4] HUMÁR, A. *Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění*. Brno : CCB, s.r.o. Brno, 1995. 265 s. ISBN 80-85825-10-4.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011



doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl sem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta



Prohlášení studenta

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářská práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších (zákon i vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....

Podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Luboš Roza

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Mánesova II 948

687 71 Bojkovice



ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

ROZA, L. *Zefektivnění výroby typové součásti : Bakalářská práce*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2011, 50 s. Vedoucí práce: Kratochvíl, J.

Bakalářská práce se zabývá zefektivněním výroby jedné součásti vstřikovací formy KERN z produkce firmy SKD. Jsou popsány všechny technologie obrábění použité při výrobě. Pro zefektivnění byla vybrána operace vrtání. V součásti KERN jsou vrtány díry pro závity, pro chlazení a pro následné drátové řezání. V současné době jsou tyto díry vrtány na klasických strojích. V této bakalářské práci jsou pro vrtání použity frézovací centra s číslicovým řízením, vypočítán čas obrábění a srovnáním obou metod určena efektivnost výroby.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

ROZA, L. *Type Component Production Reengineering : Bachelor Thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Machining and Fabrication Institute, 2011, 50 p. Thesis head: Kratochvíl, J.

This bachelor thesis deals about type component production reengineering one part of engineering form from SKD Bojkovice. There was described all machining technology. For this thesis was chosen drilling operation, because in this component is many holes serving for coils, cooling or rods for eject compacts. At this time is drilling making on classic drilling machine. For drilling in this thesis was used feed CNC machine. There is calculated time of current technology and time of new technology. Both technologies are confronted and make efficiency production.



Obsah bakalářské práce

	strana
Seznam použitých značek a symbolů	8
1. Úvod	9
2. Obecná charakteristika problému	10
2.1. Představení společnosti.....	11
2.2. Volba součástí.....	13
3. Stávající technologický postup	14
3.1. Volba materiálu.....	14
3.2. Příprava polotovaru.....	15
3.2.1 Úhlování.....	15
3.2.2 Zkosení hran.....	15
3.3 Vrtání.....	16
3.4 Frézování – hrubování.....	16
3.5 Kalení.....	17
3.6 Broušení.....	17
3.7 Přesné frézování.....	17
3.8 Elektrojiskrové hloubení.....	17
3.9 Řezání drátovou metodou.....	18
3.10 Leštění.....	18
4. Rozbor použitých technologií	18
4.1 Vrtání.....	18
4.1.1 Vrtací nástroje.....	20
4.1.1.1 Kopinaté vrtáky.....	20
4.1.1.2 Šroubovitě vrtáky.....	20
4.1.1.3 Středící vrtáky.....	21
4.1.1.4 Dělové vrtáky.....	21
4.1.1.5 Vrtací hlavy.....	22
4.2 Frézování.....	23
4.2.1 CNC frézovací centrum.....	24
4.2.2 Nástroje.....	25



4.3. Kalení.....	26
4.3.1 Kalitelnost.....	26
4.3.2 Prokalitelnost.....	27
4.3.3 Zakalitelnost.....	27
4.4 Broušení.....	28
4.5 Řezání drátovou elektrodou.....	29
4.6 Elektroerozivní obrábění.....	30
4.6.1 Elektrojiskrové hloubení.....	32
4.7 Leštění.....	33
5. Stávající postup vrtání dna.....	34
5.1 Stroj.....	34
5.2 Nástroje.....	35
5.3 Řezné podmínky	37
6. Nově navržený postup vrtání dna.....	40
6.1 Stroj.....	40
6.2 Nástroje.....	41
6.3 Řezné podmínky.....	42
7. Technicko-ekonomické zhodnocení.....	45
8. Závěr.....	47
Seznam použité literatury.....	48
Seznam příloh.....	50

**Seznam použitých značek a symbolů**

v_c	-	řezná rychlost	$[\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$
v_f	-	posuvová rychlost	$[\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}]$
v_e	-	rychlost výsledného řezného pohybu	$[\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$
D	-	průměr obráběné díry (maximální průměr ostří nástroje)	$[\text{mm}]$
n	-	otáčky vrtáku (případně obrobku)	$[\text{min}^{-1}]$
f	-	posuv nástroje na jednu otáčku	$[\text{mm}]$
κ_r	-	úhel nastavení hlavního ostří	$[\text{°}]$
EDM	-	elektroerozivní obrábění	
GAP	-	mezera mezi nástrojem a obrobkem	
MKP	-	metoda konečných prvků	



1 Úvod

Strojírenský průmysl patří v České republice mezi jedno z nejvýznamnějších a nejdynamičtěji se rozvíjejících odvětví. Jedním z hlavních strojírenských odvětví je bezesporu i automobilový průmysl, který má v České republice významný podíl na vývoji nových technologií. Produkuje více než 20% objemu výroby a velmi významně se podílí na českém exportu.

Dnešní moderní doba klade velký důraz na efektivnost výroby. Proto jsou neustále vyvíjeny nové stroje, nástroje i software, jež umožňují zkrátit čas výroby, zlepšit kvalitu výrobku a snížit výrobní náklady. Automobilky požadují od svých dodavatelů využití těchto nových technologií, aby se cena hotových produktů pohybovala konkurenceschopně oproti dalším výrobcům. Nedílnou součástí pro nejefektivnější chod výroby je personál. Ten má v Česku dobrou základnu v podobě kvalitně vybavených středních i vysokých škol.

Jedním z trendů moderního obrábění se stala taky metoda HSC – obrábění vysokými rychlostmi. Pro tuto metodu je však nutné mít vhodnou soustavu S-N-O-P, která umožní nastavit náročné řezné podmínky. Pokud jsou však všechny parametry správně zvoleny, je tato metoda obrábění vysoce produktivní. Tyto technologie jsou finančně náročné, ale jejich produktivita je velmi vysoká, proto se staly na trhu velmi oblíbenými.

Otevřenost trhu dnes umožňuje okamžitou reakci na vývoj nových technologií a optimalizaci. Proto je vhodné využít kapitálu firmy k modernizaci výroby a školení pracovníků. Světový trh je stále nenasycený a hrozí riziko, že větší, moderní firmy pohltní stávající zakázky díky svým nízkým cenám a rychlosti dodání. Proto platí obecně známé pravidlo – firma, která neroste, zaniká.



2 Obecná charakteristika problému

Hlavním cílem zabývajícím se tato práce je zefektivnění výroby dané součásti. Na součásti KERN (obr. 3.1.) je mnoho možností pro řešení této problematiky. Pro náš účel byla zvolena problematika vrtání. Kvůli velkému počtu otvorů a tlaku na CNC frézovací centra, na kterých se provádí frézování v současné době není časový prostor pro vrtání. Firma SKD Bojkovice s.r.o je pod velkým tlakem odběratelů, kteří ji tlačí do krátkých časových termínů. Proto je veškeré obrábění, realizovatelné na jiných strojích, převáděno na ně. V případě součásti KERN a problematiky vrtání je však velmi složité určovat přesné polohy hlavně děr pro vyhazovače. Tyto díry však budou dále řezány drátovou metodou, je ale nutné vrtat v přesnosti několika setin milimetru, což může být problém při vrtání na vrtačkách bez počítačového řízení. Je nutné zjistit, jestli je pro firmu výhodné zaplatit zdlouhavou práci dělníka a riskovat ještě možnost jeho omylu a tím následně zmetkového kusu. Jedna z možností, jak zefektivnit tuto výrobu, je vrtání alespoň jedné strany obrobku na CNC frézovacím centru, a využít tak již realizovaného upnutí ve stroji. Při ručním vrtání, které se nyní ve firmě provádí, se používají klasické vrtáky z rychlořezných ocelí. Může se využít vrták modernější, což však není optimální. Důvod je takový, že nové materiály vrtáků mají předepsané doporučené řezné podmínky. Při těchto podmínkách se nástroj méně opotřebovává. Pracovník však není schopen dodržet takové konstantní podmínky a proto se tento drahý vrták rychleji opotřebovuje. Vrtání v součásti tak bude urychleno o nastavování pozice děr, přejezdů a výměny nástroje.

2.1 Představení společnosti



Obr. 2.1. Budovy firmy SKD Bojkovice [1]

Již od roku 1990 se společnost SKD zaměřuje na přesnou strojírenskou - nástrojářskou výrobu se specializací na konstrukci a výrobu vstřikovacích forem a lisovacích nástrojů, především pro automobilový průmysl. Firma se po celou dobu své existence dynamicky rozvíjí a každoročně investuje nemálo prostředků do moderních strojů a technologií. Ke konci roku 2010 má 152 zaměstnanců a ročně produkujeme cca 110 vstřikovacích forem, což ji řadí mezi větší nástrojárny v Evropě. Disponuje špičkovým technickým a technologickým vybavením, dobrým zázemím, zkušeným personálem, kvalitním know-how a dostatkem zkušeností s dodávkami do automobilového průmyslu. [1]

S cílem rozšířit služby a rozvíjet její působení v průmyslu, otevřela vlastní lisovnu plastů a dokáže tak nyní nabídnout ucelený servis od návrhu dílu přes výrobu formy, až po dodávky sériově vyráběných výlisků či celých podsestav. Cílem lisovny je zaměřit se z hlediska počtu kusů zejména na méně a středně objemové projekty. [1]

Vývojový proces při konstrukci forem neprobíhá izolovaně od zákazníka. Díky aktivnímu zapojení do závěrečné fáze vývoje Vašeho výrobku, dokáže připravit studii proveditelnosti, odhalit tak potenciální problémy při výrobě formy či výlisku. [1]

Moderní a progresivní firmě nestačí disponovat jen vysoce moderním strojovým parkem, ale k posílení firemního know-how a zkvalitnění vnitrofiremních procesů potřebuje i špičkový lidský potenciál. Proto klade důraz taktéž na vnitrofiremní



personalistiku a vzdělávání. Spoluprací se školskými technickými institucemi všech úrovní tak myslí i na personální budoucnost. [1]

Dnešní náročná doba však vyžaduje velkou pozornost věnovanou snižování nákladů a jejich optimalizaci, flexibilitu na požadavky a zvyšování konkurenceschopnosti, například soustavnou snahou o optimalizaci obchodních, interních, výrobních a logistických procesů, čemuž věnuje náležitou pozornost. [1]

Oborová tradice a zkušenosti, špičková kvalita, plánovaný rozvoj či samotná poloha firmy v samém demografickém srdci evropského automobilového průmyslu, jí dává ambice stát se spolehlivým partnerem. [1]

Kontakt:

Sídlo firmy:

Strojírenské kovovýrobní družstvo SKD

Husova 549

687 71 Bojkovice

Česká Republika

Tel.: +420 572 610 141 (ústředna)

Fax: +420 572 641 259

E-mail: skd@skd-bojkovice.cz

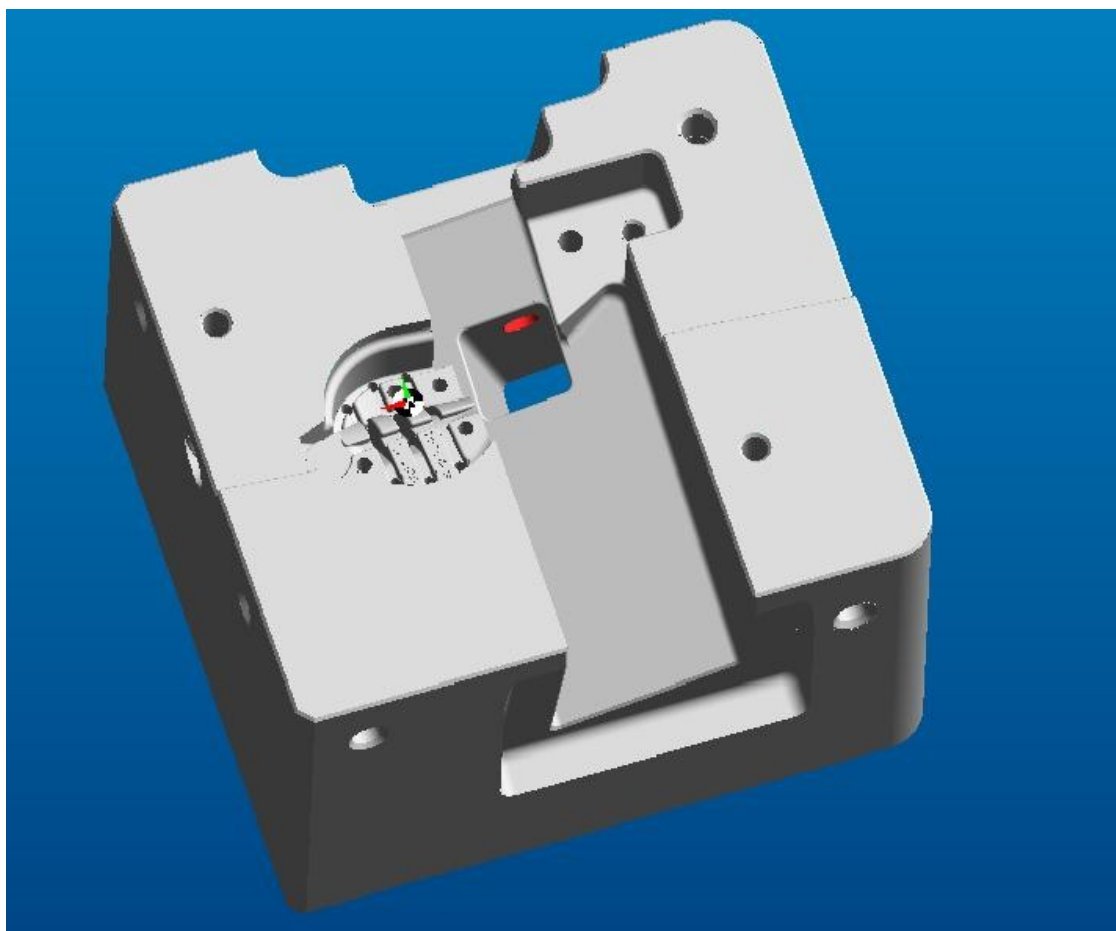
www.skd-bojkovice.cz



Obr. 2.2 Logo firmy [1]

2.2 Volba součásti

Pro účel této bakalářské práce byla zvolena součást s pracovním názvem **KERN**. Jde o jeden z mnoha dílů strojírenské formy určené pro lisování plastových výlisků pro automobilový průmysl. Součást obsahuje část funkční plochy, která bude v kontaktu s plastem, což je hloubená tvarová plocha. Dále obsahuje otvory pro vnitřní chlazení, pro závity a pro vyhazovače, sloužící k uvolnění výlisku z formy. Broušené dosedací plochy slouží pro přesné usazení součásti do tvárníku. Na obr. 3.1. je znázorněna daná součást.



Obr. 3.1. Součást KERN



3 Stávající technologický postup

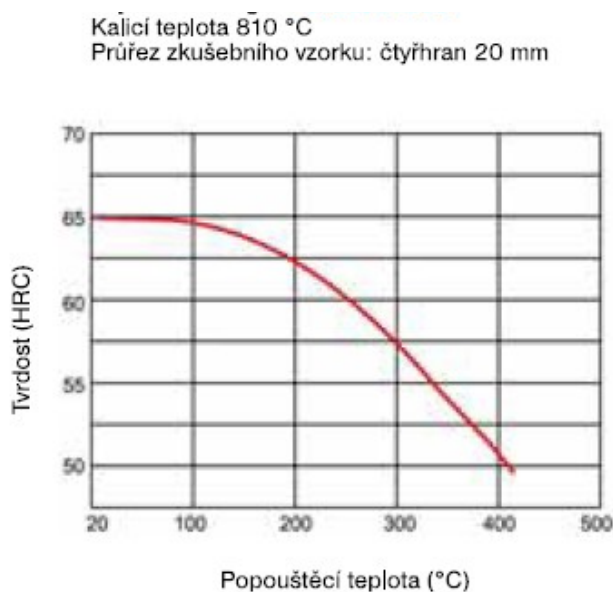
Ve výrobě firmy SKD Bojkovice jsou v dnešní době využívány nejnovější stroje, technologie i materiály. Pro výrobu vstřikovacích forem je nutné využívat těchto technologií a možností moderní doby k vysoké efektivnosti a především přesnosti, na níž je celá výroba závislá.

3.1 Volba materiálu

Je zvolena velmi kvalitní nástrojová ocel DIN-90MnCrV 8, vyráběná firmou Böhler, která nabízí řadu v praxi osvědčených ocelí na výrobu forem zhotovených na míru pro příslušný účel využití. Používají se oceli s vysokou odolností proti opotřebení, dobrou leštitelností, erodovatelností, rozměrovou stálostí, korozivzdorností a dobrou opracovatelností. Dle požadavku zákazníka může firma nabídnout oceli zušlechtěné, antikorozi, nitridační, martenziticky kalené, oceli na výrobu vložek či oceli vyrobené práškovou metalurgií na výrobu vysoce výkonných nástrojů. [2]

Tab. 3.1 Chemické složení oceli K720 (DIN-90MnCrV 8) [2]

Chemické složení	C	Si	Mn	Cr	V
Obsah prvků v %	0,90	0,25	2,00	0,35	0,10



Obr.3.1 Popouštěcí diagram K720



3.2 Příprava polotovaru

Firmou Böhleh byl dodán polotovar s přířezem o rozměrech 200x200x150. Takto dodaný materiál nemá vysokou přesnost. Pro další operace přesného obrábění je z hlediska upínání obrobku nutné, mít přesně kolmé všechny stěny. Při nepřesném úhlování může nastat problém v dalším obrábění.

3.2.1 Úhlování

Operace úhlování je jednou z nejdůležitějších operací při výrobě daného kusu. Součást se úhluje na klasické frézce a účelem je dosažení přesně rovných a kolmých stěn. Důvodem je upínání v dalších strojích jako například CNC frézovací centrum, hloubení i vrtání. Pro přesné další obrábění je tedy nutné, mít polotovar přesně kolmý. Stěny se frézují frézami o velkém průměru s vyměnitelnými břitovými destičkami ze slinutých karbidů. Po obrobení je nutné dodržet přídavek 0.2mm na broušení. Tato hodnota je získaná letitou praxí ve firmě. Materiál se po tepelné úpravě mírně deformuje a proto se obrobek brousí na hotový rozměr až po operaci kalení. Hodnota 0,2mm zaručuje, že i po kalení a následné deformaci nebude stěna vychýlena mimo přesný rozměr. V případě, že by přídavek byl větší, broušení pak bude zdlouhavější a tím i nákladnější.

3.2.2 Zkosení hran

Při operaci úhlování pracovník zároveň zkosí hrany. Bylo tak provedeno na stejném stroji a se stejným nástrojem. Toto sražení se provádí kvůli rámu, do kterého bude tento tvárník vsazen. Rám má na dně technický rádius, který zabraňuje praskání. Aby tvárník dosednul na dno, musí se zkosit hrany. Rozměry zkosení už se nebrousí, proto se frézují na hotový rozměr (Příloha č.1).



3.3 Vrtání

Po přípravě polotovaru je na řadě vrtání všech děr. Na součásti KERN je mnoho děr, které plní tři funkce:

- díry pro závity
- díry pro chlazení
- díry pro vyhazovače
- startovací díry pro řezání drátovou elektrodou

Díry pro závity – jsou určeny pro řezání závitů, které budou sloužit pro uchycení tvárníku v rámu.

Díry pro chlazení – jsou určeny pro průchod procesní kapaliny, která bude chladit formu. Při lisování ve vstřikovacích lisech jsou vysoké teploty, které je třeba regulovat. Tuto funkci plní díry pro chlazení.

Díry pro vyhazovače – slouží pro umístění vyhazovačů ve tvarové části formy. Vyhazovače jsou tyčového profilu a mají funkci uvolnění vylisku z formy.

Startovací díry pro řezání drátovou elektrodou – slouží k provlečení drátové elektrody.

3.4 Frézování – hrubování

Dalším bodem výroby je hrubovací frézování. Na CNC frézovacím centru se budou frézovat všechny kapsy, tzn. dvě boční, jedna spodní a drážka horní. Tyto kapsy se frézují s přídavkem 0,5mm pro další přesné frézování po kalení. Na přesný rozměr bude vyfrézován pouze rozdíl na čelní ploše, kde zůstane přídavek 0,2mm na broušení.



3.5 Kalení

Dalším krokem výroby je kalení, které má za úkol zvýšit tvrdost materiálu. Součást KERN se kalí na tvrdost 52HRC.

3.6 Broušení

Po kalení se materiál mírně deformuje a pro další obrábění je nutné mít přesné naúhlování součástí. Proto bude broušen předchozí přídavek 0.2mm na již přesné rozměry 200-0,02mm x 216-0,02mm x 134.52mm. Dále bude broušena čelní plocha. Broušení má v tomto případě funkci přesnosti rozměrů, ne vizuální. Dosáhne se vysoké přesnosti vnějších rozměrů, což je potřebné k upínání na strojích pro další obrábění. Od těchto vnějších ploch se odvíjí přesnost dalších rozměrů.

3.7 Přesné frézování

Přesným frézováním se bude dokončovat hrubovací frézování vykonané před kalením, při kterém se součást mírně deformovala. Je nutné použít tvrdokovové frézy, kterými je možné obrábět i kalené povrchy. Obrábí se pouze předchozí přídavek 0.5 mm. Účelem dvojího frézování je urychlit proces a prodloužit životnost nástrojů. V případě frézování do kaleného materiálu by toto bylo velmi nákladné.

3.8 Elektrojiskrové hloubení

Touto metodou je obráběna tvarová plocha na čele obrobku, která bude ve styku se vstříkovaným plastem. Jde o nekonvenční metodu obrábění, která je při výrobě forem velmi často využívána.



3.9 Řezání drátovou elektrodou

Drátovou elektrodou se budou řezat tvarové otvory a přesné díry pro vyhazovače. Pro tuto metodu obrábění byly vytvořeny startovací otvory před kalením. Pro vytvoření otvorů pro vyhazovače je využita metoda řezání drátovou elektrodou, protože klasické extra dlouhé vrtáky nejsou schopny vrtat do kalených materiálů. Druhou předností řezání drátem je přesnost obrobeného povrchu. Díry pro vyhazovače musí být v toleranci H7.

3.10 Leštění

Závěrečným obráběním při výrobě součásti KERN je leštění. Leští se tvarová plocha po elektrojiskrovém hloubení. Leštění se neprovádí vždy po hloubení, na přání zákazníka jsou povrchy různě opracované. V našem případě bude provedeno leštění keramickými skelnými vlákny. Je provedeno ručně a pokud možno v kolmém směru na čelní plochu, aby šel výlisek snadno vyjmout.

4 Popis použitých technologií

4.1 Vrtání

Jedná se o obráběcí metodu, kterou se zhotovují otvory do plného materiálu nebo se zvětšují předpracované díry (předvrtané, předlité, předlisované, atd.). Nástrojem je vrták, který koná hlavní pohyb rotační. Ve výjimečných případech koná hlavní pohyb obrobek. Vedlejší pohyb je pak přímočarý posuvný, který koná nástroj. Při samotném obrábění je osa vrtáku nejčastěji kolmá k obráběné ploše, až na výjimečné případy. Řešením těchto případů mohou být vyfrézované plošky.

Důležitým znakem jsou díry buď průchozí nebo neprůchozí (slepé). Průchozí díry se z technologického hlediska obrábí velmi snadno. Při obrábění neprůchozích děr se musí brát zřetel na její hloubku a zakončení. Je zde nutnost odřezávání třísky vzniklé po



vyjetí vrtáku z materiálu na druhé straně obrobku. Tyto třísky se odřezávají tak, že vrták po zastavení posuvu vykoná ještě několik otáček.

Charakteristickým rysem nástrojů na díry je, že se řezná rychlost zmenšuje od obvodu směrem ke středu nástroje, přičemž v ose nástroje má hodnotu nulovou. Za řeznou rychlost se proto považuje obvodová rychlost na maximálním průměru ostří nástroje a určujeme je podobně jako u soustružení. Ideální řezné podmínky jsou zobrazeny v tab.4.1. [3]

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1)$$

kde v_c - řezná rychlost, n - otáčky, D – průměr vrtáku

$$v_f = f \cdot n \quad [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (2)$$

kde v_f - rychlost posuvu, f - posuv, n - otáčky

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (3)$$

kde v_e - rychlost výsledného řezného pohybu, v_c - řezná rychlost, v_f - rychlost posuvu

Tab. 4.1 Řezné podmínky při vrtání [4]

Obráběný materiál	Třída obrobitelnosti	Materiál nástroje	Šroubovitě vrtáky		Dělové vrtáky		Vrtací hlavy (na jádro)		Vrtáky s VBD ¹⁾	
			v_c ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)	s (mm)	v_c ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)	s (mm)	v_c ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)	s (mm)	v_c ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)	s (mm)
Ocel 500 až 800 MPa	13 až 14b	RO	25 až 30	0,1 až 0,5	20 až 30	0,05 až 0,5				
		SK	50 až 70	0,05 až 0,2	80 až 100	0,07 až 0,05	80 až 140	0,07 až 0,3	200 až 300	0,04 až 0,1
Ocel 800 až 1 000 MPa	11 až 12b	RO	10 až 20	0,1 až 0,3	15 až 25	0,05 až 0,03				
		SK	40 až 60	0,05 až 0,1	60 až 100	0,07 až 0,05	60 až 120	0,05 až 0,2	170 až 250	0,06 až 0,20
Šedá litina 200 HB	11a	RO	10 až 25	0,1 až 0,8						
		SK	40 až 100	0,1 až 0,05			80 až 180	0,1 až 0,4	210 až 280	0,1 až 0,2
Slitiny mědi HB 90		RO	40 až 70	0,12 až 0,4						
		SK	80 až 100	0,08 až 0,3					250 až 350	0,05 až 0,2
Slitiny hliníku HB 100		RO	120 až 200	0,15 až 0,5						
		SK	200 až 300	0,15 až 0,4					250 až 400	0,05 až 0,2

4.1.1 Vrtací nástroje

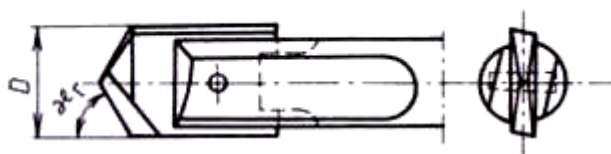
Nástroje na vrtání, tedy vrtáky, se podle jejich tvaru dělí na:

- kopinaté
- šroubovité
- středící
- dělové
- vrtací hlavy

4.1.1.1 Kopinaté vrtáky

Jsou nejstarší a nejjednodušší druh vrtacích nástrojů. Řezná část vrtáku je tvořena dvěma hlavními břity a jedním příčným (obr. 4.2). Obě hlavní ostří mezi sebou svírají úhel $2\kappa_r$. Tento úhel se volí tím větší, čím tvrdší je vrtaný materiál ($90-146^\circ$). Moderní kopinaté vrtáky mají řeznou část ve formě vyměnitelných břitových destiček, které jsou v dnešní době více a více používány. Tyto destičky mohou být vyrobeny buď z rychlořezných ocelí nebo slinutých karbidů. Nevýhodou je horší odvod třísek z místa řezu, proto se musí využít větší množství procesní kapaliny, která třísky odplavuje.

[4]



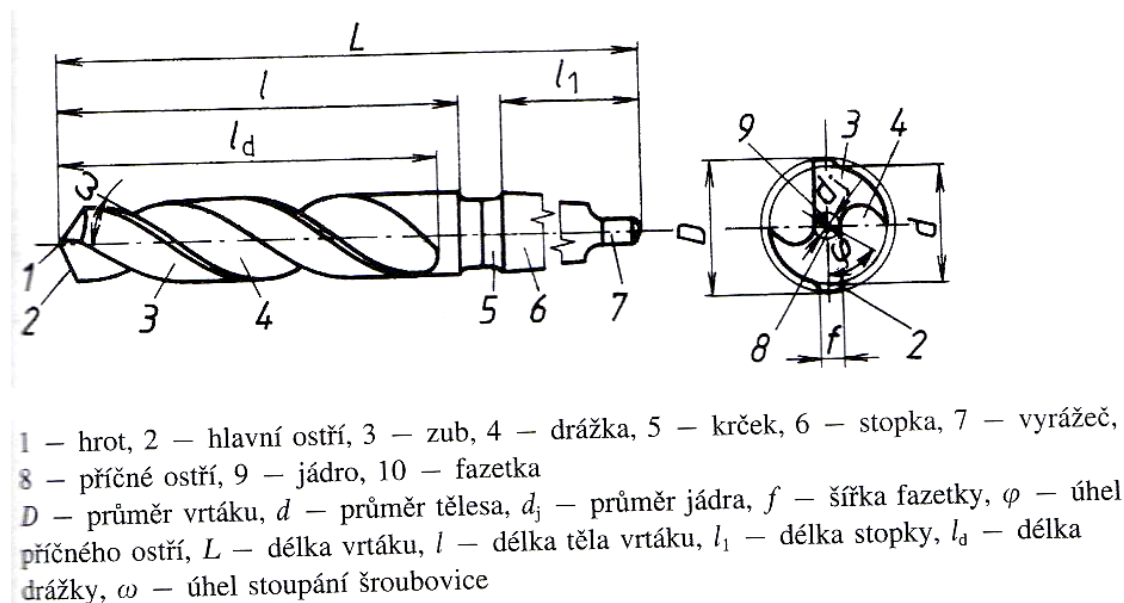
D – průměr vrtáku, κ_r – úhel nastavení hlavního ostří

Obr. 4.2 Kopinatý vrták s vyměnitelnou břitovou destičkou [4]

4.1.1.2 Šroubovité vrtáky

Jsou nejčastěji používané nástroje na výrobu děr. Většinou jsou dvoubřité se šroubovými drážkami, které usnadňují odvod třísek (obr.4.3). Vedení v díře zajišťuje válcová fazetka na vedlejším ostří vrtáku. Vrták má dvě hlavní ostří položená symetricky k ose vrtáku, který jsou na hrotu spojena příčným ostřím.

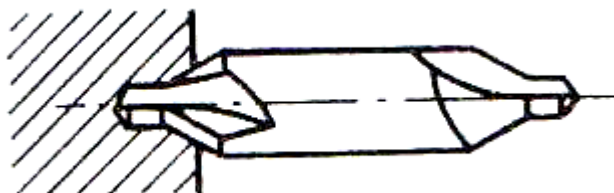
[4]



Obr. 4.3 Šroubovitý vrták s kuželovou stopkou Morse [4]

4.1.1.3 Středící vrtáky

Slouží k navrtání tvarových důlků pro upínání obrobků do hrotů nebo k navrtání středícího důlku pro přesné určení polohy osy díry při vrtání šroubovým vrtákem. (obr.4.4) [4]

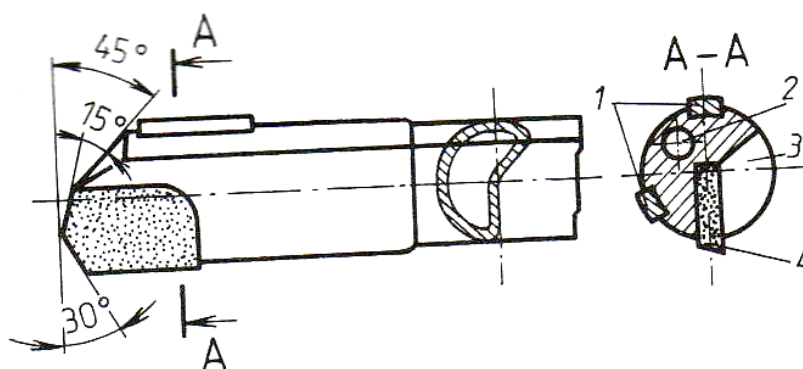


Obr. 4.4 Středící vrták [4]

4.1.1.4 Dělové vrtáky

Jejich využití je především při vrtání hlubokých děr. Tělo a ostří je konstruováno tak, aby vedení v díře bylo co nejlepší. Lze vrtat díry v délce několik desítek až stovek průměrů vrtáku, aniž by došlo k jeho vybočení. Je nutné zajistit dobrý odvod třísky proudem procesní kapaliny. Na obr.4.5 je znázorněn nejjednodušší typ dělového vrtáku.

[4]

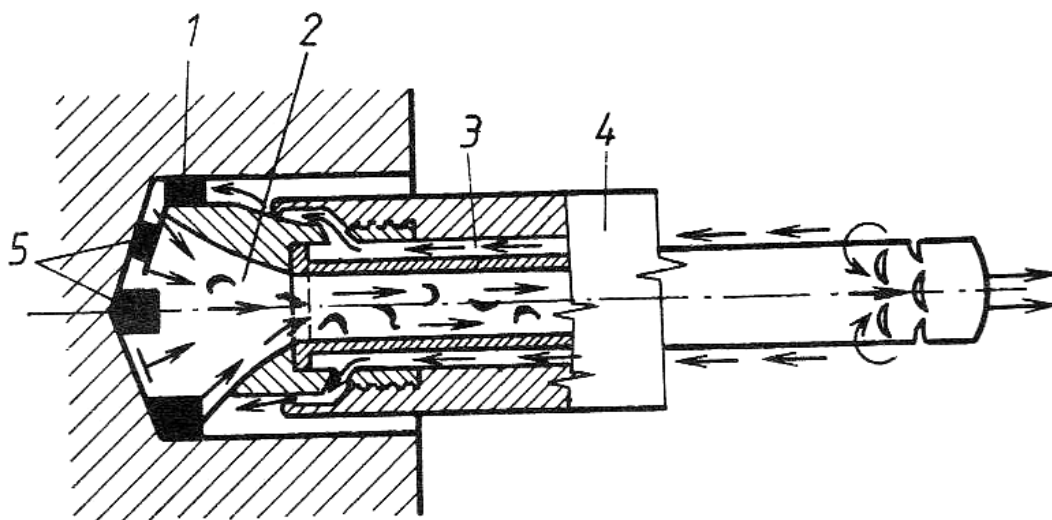


Obr. 4.5 Dělový vrták s připájenou břitovou destičkou [4]

4.1.1.5 Vrtací hlavy

Obvyklé využití je při vrtání velkých průměrů, ale lze s nimi vrtat již od průměru 20mm. Jsou osazeny pájenými nebo mechanicky upnutými břitovými destičkami. Procesní kapalina je přiváděna prostorem mezi vrtákem a dírou nebo mezi vnějším pláštěm vrtací tyče a vnitřní trubicí, která odvádí třísky. U metody BTA (obr.4.6) je používán tlak procesní kapaliny 4-10Mpa.

[4]



Obr. 4.6 Vrtání metodou BTA s vnějším přívodem procesní kapaliny [4]

1 – vodítka, 2 – odvod třísek, 3 – chladicí kapalina, 4 – těleso, 5 – břitové destičky

4.2 Frézování

Frézování je jedno z nejrozšířenějších obrábění. Velkou předností je poměrně velká výkonnost při velmi dobré kvalitě obrábění. Využívá se pro obrábění hranolovitých rovinných ploch, tvarových ploch ale i rotačních ploch, pro obrábění drážek nejrůznějších profilů. Frézováním také můžeme obrábět ozubení nebo závity. Při frézování je tříska odebírána břity rotujícího nástroje – frézy. Hlavní pohyb koná nástroj a to pohyb rotační. Vedlejší pohyb je posuv, který bývá posuvný přímočarý a vykonává ho obrobek. U moderních strojů jsou posuvy plynule měnitelné a mohou se realizovat v několika směrech najednou (víceosá frézovací centra) . [3]

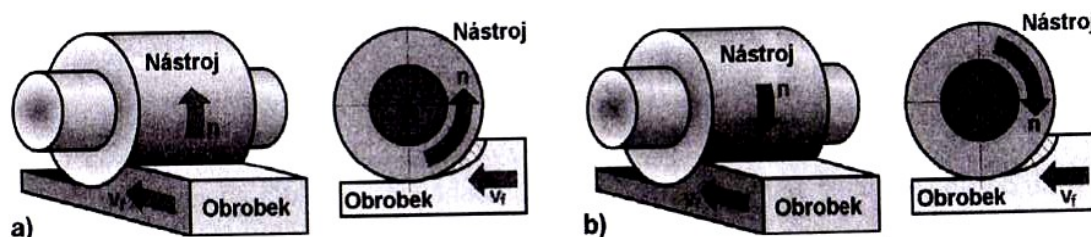
Dle polohy osy dělíme frézování na:

- **válcové** – obvodem nástroje
- **čelní** – čelem nástroje
- **okružní** – obvodem rotačního nástroje
- **planetové** – pro válcové plochy

Dle smyslu otáčení nástroje dělím válcové frézování na:

- **sousledné**
- **nesousledné**

Smysl rotace nástroje je při **sousledném frézování** (obr.4.7 b) takový, že se ostří v místě styku pohybuje ve směru posuvu obrobku. Proto se tloušťka třísky mění z maximální hodnoty do hodnoty nulové. Pro sousledné frézování je nutné mít velmi tuhou soustavu SNOP. Používá se při vyšších řezných rychlostech a posuvů, pro zlepšení kvality povrchu, pro vyšší trvanlivost nástroje. [3]



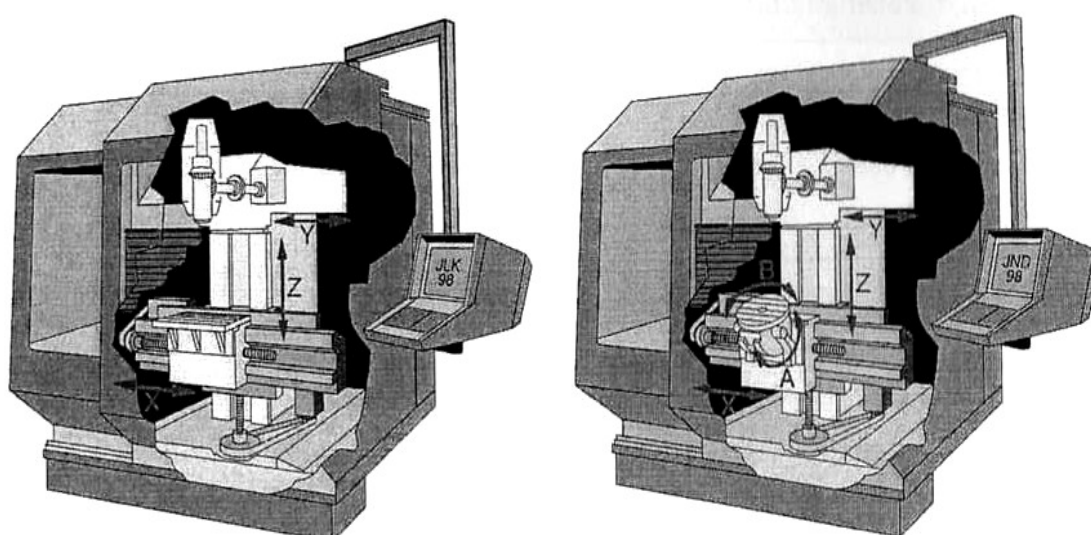
Obr. 4.7 Válcové frézování, a) nesousledné, b) sousledné [3]

Při **nesousledném frézování** (obr. 4.7 a) se ostří rotujícího nástroje v místě styku pohybuje proti směru posuvu obrobku. Obrobená plocha tak vzniká při vnikání nástroje do obrobku. Tloušťka třísky se tak mění opačně jako u sousledného frézování, tedy minimální na maximální hodnotu. Výhodami jsou menší opotřebení stroje a počáteční záběr zubů nezávisí na hloubce řezu. [3]

4.2.1 CNC frézovací centrum

Číslicovým řízením myslíme činnost číslicového počítače pro řízení pohybu nástroje nebo obrobku definovanou rychlostí po dané trajektorii v prostoru nebo rovině. Při číslicovém řízení obráběcích strojů jde konkrétně o řízení procesu obrábění i pomocných funkcí na základě číselných údajů a příkazů. CNC (Computer Numerical Kontrol) obráběcí stroj je tedy stroj, který je numericky řízen a konstrukčně uzpůsoben tak, aby pracoval v automatickém cyklu a měl automatickou výměnu nástrojů.

Pro CNC stroje (obr. 4.7) je typické, že ovládání všech funkcí stroje (pohyby, rychlost a směr pohybů, výměna nástrojů, obrobků či jiných činností) se provádí výhradně řídicím systémem stroje, tedy počítačem. Tyto stroje snižují výrobní náklady tím, že jsou „pružné“ a taky užitím nových konstrukčních principů čímž se stávají spolehlivé. Jsou uzpůsobeny na třísměnný provoz, pracují v automatickém cyklu a tím snižují vedlejší časy. [3]



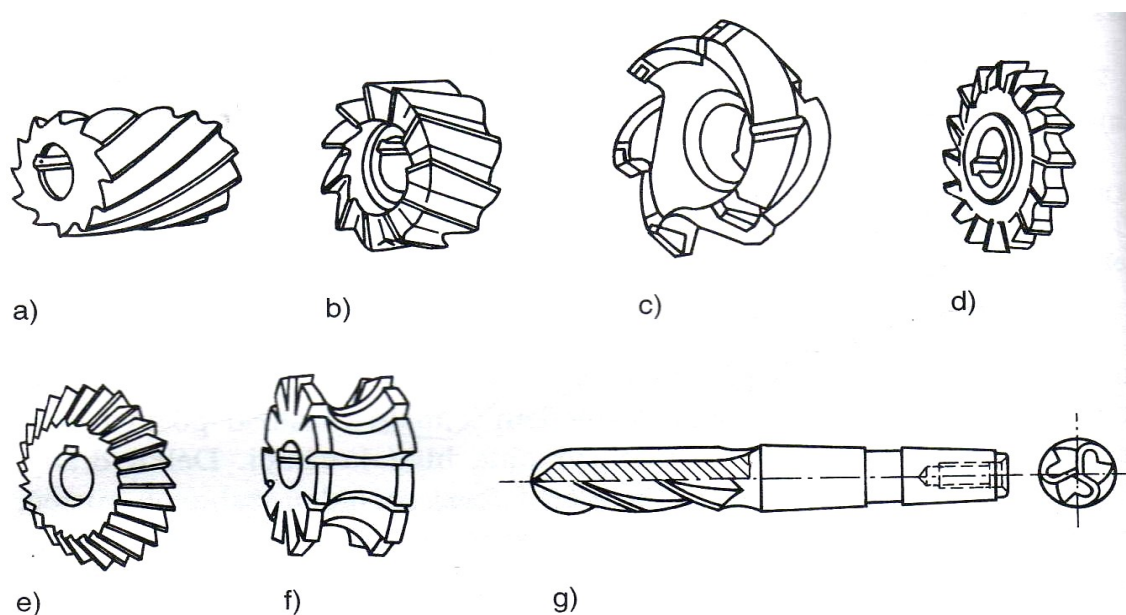
Obr. 4.7 Frézovací centrum 3-osé a 5-osé [6]

4.2.2 Nástroje

Frézovací nástroje – frézy je možné dělit z různých hledisek, a to podle umístění břitů, tvaru zubů, průběhu ostří, upínání a konstrukce. Tyto frézy (obr. 4.8) můžeme dělit na:

- **válcové** - s břity na válcové ploše
- **čelní** - s břity na válcové ploše
- **kotoučové** - s břity na válcové a obou čelních plochách
- **kuželové** - s břity na jedné nebo dvou kuželových plochách
- **tvarové** - s břity na tvarových plochách

[4]



a) válcová, b) čelní, c) frézovací hlava, d) kotoučová, e) kuželová, f) tvarová, g) stopková s kulovým čelem

Obr. 4.8 Některé druhy fréz [4]

Dále jsou frézy děleny podle tvaru zubů na frézy **s frézovanými zuby** a **s podsoustruženými zuby**.

Podle průběhu ostří zubů na frézy **s přímými zuby** a **se zuby do šroubovice**.

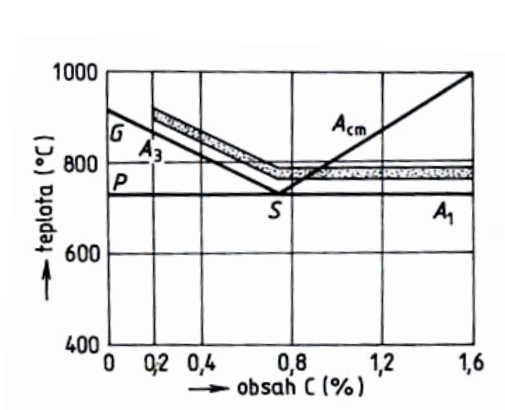
Podle upínání dělíme na frézy **stopkové** nebo **nástrčné**.

Podle konstrukce rozeznáváme frézy na **celistvé** a s **vyměnitelnými břitovými destičkami**. Ty jsou v dnešní době čím dál více využívány. Jsou vysoce trvanlivé, v případě opotřebení se břitové destičky pouze vymění a nástroj slouží déle. Jsou finančně náročnější, ale jejich návratnost je vysoká.

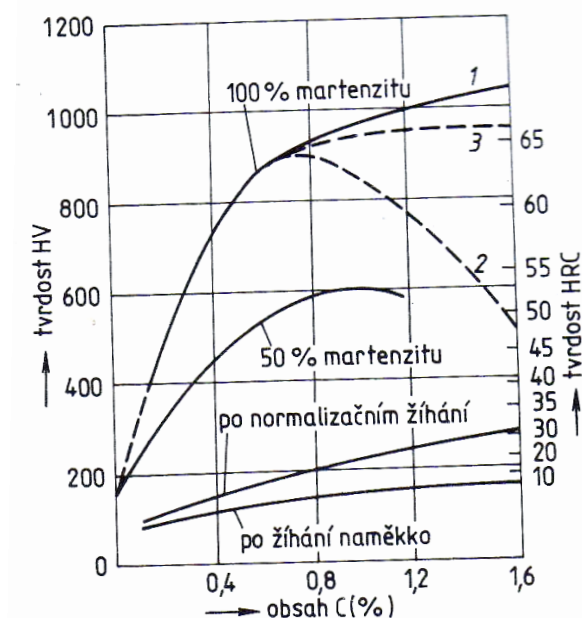
[4]

4.3 Kalení

Kalení je způsob teleného zpracování oceli (ostatní kovy kalit nejdou). Při tomto procesu se ocel ohřeje na tzv. kalicí teplotu A_{c3} , popř. A_{c1} (obr.4.9) a po té se prudce ochlazuje. Tímto procesem získává materiál lepší mechanické a fyzikální vlastnosti. Kalení se používá zvýšení , případně získání maximální tvrdosti výrobku, nebo jen pracovní plochy (povrchové kalení). Kalené součásti všech ztrácí svou houževnatost a stávají se křehké. Kalení dělíme na martenzitické a bainitické. Jako kalicí prostředí se může využít voda, olej, roztavené solné lázně nebo i vzduch a roztavené kovové lázně [7]



Obr. 4.9. Oblast vhodných kalících teplot [7]



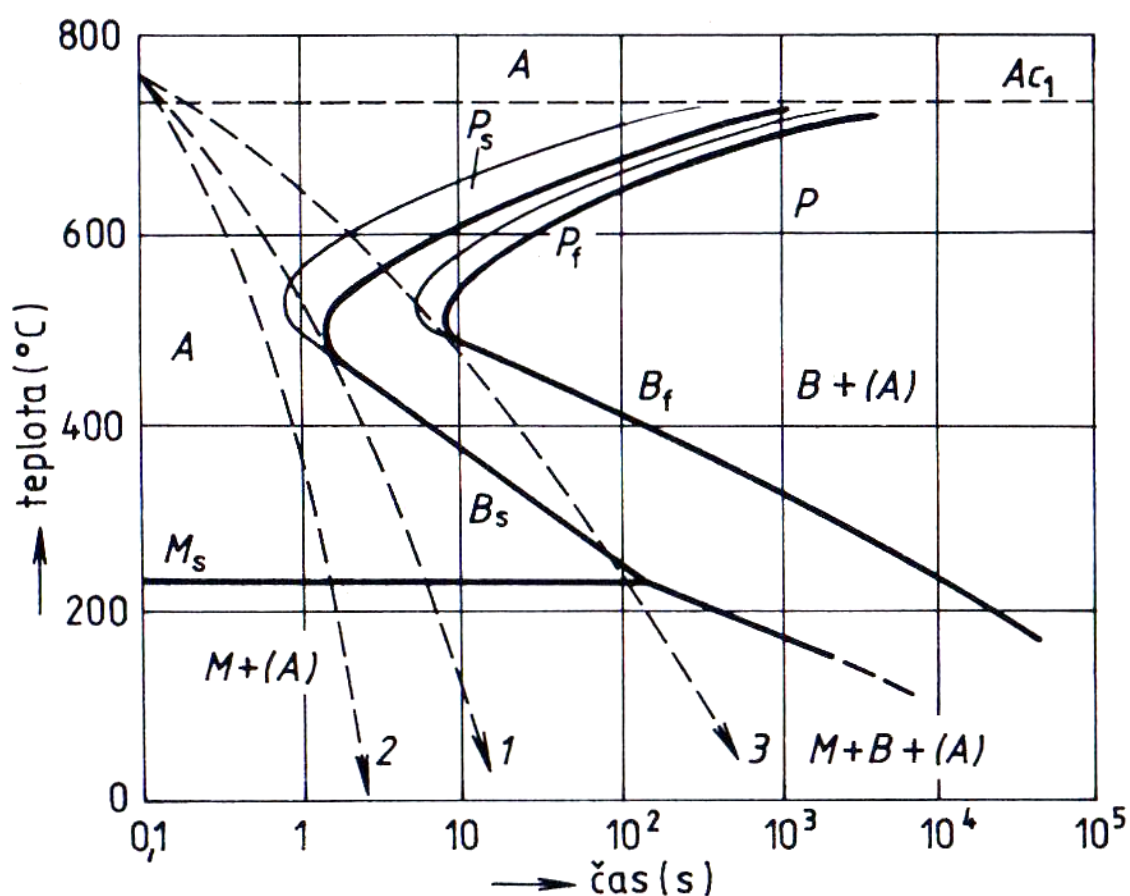
Obr. 4.10. Tvrdost nelegovaných ocelí [7]

4.3.1 Kalitelnost

Kalitelnost je schopnost materiálu (oceli) dosáhnout kalením určitého zvýšení tvrdosti. Nejvyšší dosažitelná tvrdost oceli po kalení je závislá na obsahu uhlíku (viz obr.4.10.). Mezi kalitelné oceli se řadí oceli s obsahem uhlíku vyšším než 0,35%, kdy lze zaručit vznik zákalné struktury. [7]

4.3.2 Prokalitelnost

Prokalitelnost je schopnost oceli dosáhnout po kalení v určité hloubce pod povrchem odpovídající tvrdosti. Tato schopnost materiálu závisí především na tvaru diagramu ARA (Obr.4.11). Čím delší bude inkubační doba, tím větší hloubky zakalené vrstvy lze dosáhnout při stejné rychlosti ochlazování. Prokalitelnost lze taky snadno ověřit Lomminiho čelní zkouškou prokalitelnosti. [7]



Obr. 4.11 Diagram ARA se zakresleným diagramem IRA [7]

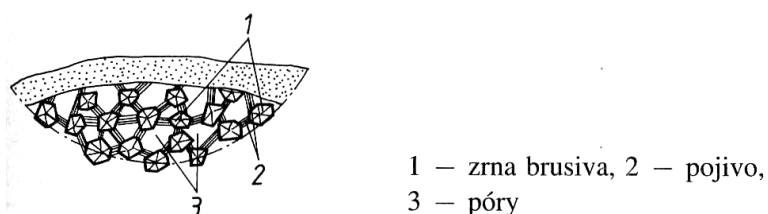
4.2.3 Zakalitelnost

Zakalitelnost je nejvyšší dosažitelná tvrdost oceli, která je dána především tvrdostí martenzitu (která je ovlivněna obsahem uhlíku v oceli, se zvyšujícím se obsahem tvrdost martenzitu stoupá). [7]

4.4 Broušení

Broušení je jedním z historicky nejstarších metod obrábění. Je to dokončovací metoda obrábění rovinných, válcových nebo tvarových ploch a to buď vnitřních nebo i vnějších. Při této operaci obrábění není přesně definována geometrie břitu nástroje, protože každé zrno má jiný geometrický tvar. Zrna jsou v brousícím nástroji umístěna náhodně a jsou spojena pojivem. Mezi zrny a pojivem se vyskytují tzv. póry (obr.4.12)

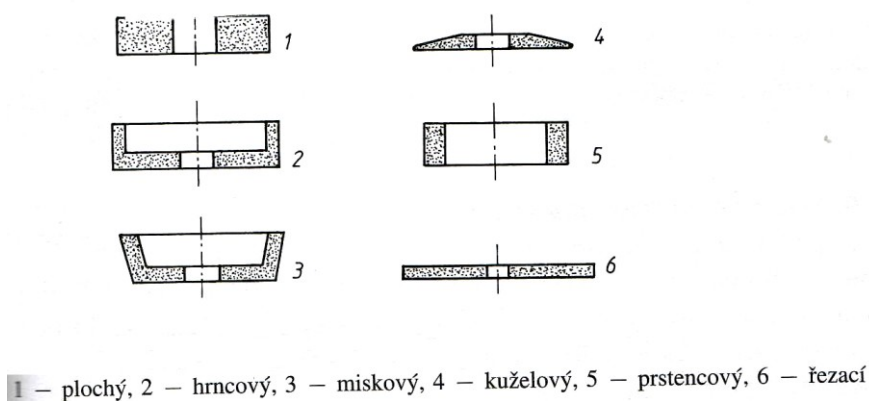
S vývojem nových výkonných brousících strojů a nástrojů se může broušení uplatnit i při hrubovacích operacích, kde může být úběr materiálu za jednotku času ještě vyšší, než je tomu například u frézování. [4]



Obr. 4.12 Struktura brousícího nástroje [4]

Nástroje na broušení jsou brousící kotouče, segmenty, kameny a pásy. Mezi nejčastěji používané se však řadí brousící kotouče (obr.4.13). Zrna brusiva můžou být buď **volná** (brousící a leštící pasty a prášky) nebo **vázaná** (kotouče, kameny, brousící pilníky).

[4]



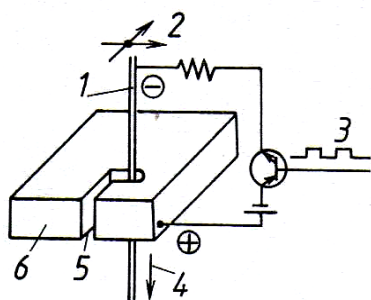
Obr. 4.13 Tvary brousících kotoučů [4]

4.5 Řezání drátovou elektrodou

Na obr.4.14 je znázorněn princip elektroerozivního řezání drátovou metodou. Tato metoda umožňuje vyrábět tvarové přímky plochy, což znamená, že tvořící čarou těchto ploch je přímka. Nástrojová elektroda je tvořena tenkým drátem, který se pomocí speciálního zařízení odvíjí, aby se předešlo jeho nadměrnému opotřebení. Drát je většinou měděný a mosazný a výjimečně i molybdenový. Mezi nástrojovou elektrodou a obrobkem vznikají elektrické výboje. Pracovní mezera mezi obrobkem a elektrodou se vytváří samočinně úběrem materiálu obrobku před elektrodou. Drátová elektroda musí mít kromě vysoké elektrické vodivosti zejména tyto vlastnosti:

- dostatečnou mechanickou pevnost
- vysokou přesnost průměru drátu, tzn. úzké tolerance průměru
- vysokou tvarovou přesnost, tedy kruhovitost

[8]



Obr. 3.14. Princip elektroerozivního řezání drátovou elektrodou

1 – drátová elektroda, 2 – CNC řídicí systém,
3 – generátor, 4 – směr posuvu elektrody, 5 – vyřezaná drážka, 6 – obrobek

Obr. 4.14 Princip elektroerozivního řezání drátovou metodou [8]

Dosahované technologické parametry při elektroerozivním řezání drátovou elektrodou:

- maximální úběr materiálu $35 \text{ až } 200 \text{ mm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$
- rovnoběžnost řezu do $2 \mu\text{m}$ na 100 mm tloušťky materiálu
- jakost obrobeného povrchu $Ra=0,15 \text{ až } 0,3 \mu\text{m}$
- přesnost rozměrů a tvaru obrobeného povrchu závisí na tepelné stabilizaci stroje
 - při kolísání teploty $\pm 3^\circ\text{C}$ je přesnost $\pm 3 \mu\text{m}$
 - při kolísání teploty $\pm 1^\circ\text{C}$ je přesnost $\pm 1 \mu\text{m}$
- maximální tloušťka řezaného materiálu 350 mm

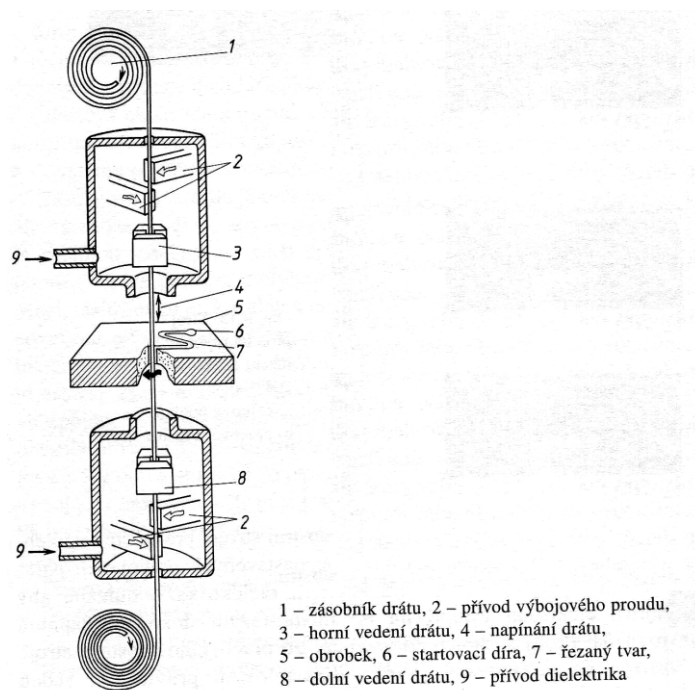
[8]

Rozvoj výpočetní techniky, zejména možnost pracovat na obrazovce počítače s modelem v prostoru, je podnětem ve vývoji nových principů elektroerozivního obrábění. Jedná se o vyřezávání třírozměrných tvarů **tvárovou drátovou elektrodou**.

Dosahované technologické parametry při elektroerozivním řezání tvarovou drátovou elektrodou:

- přesnost obrobených rozměrů 0,1 mm
- jakost obrobeného povrchu $Ra=10\mu m$
- rychlost posuvného pohybu nástrojové elektrody $0,17$ až $0,55 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$
- výhodné pro obrábění dutin o délce větší než 70 mm

[8]



Obr. 4.15 Schéma podávání a vedení drátové elektrody [8]

4.6 Elektroerozivní obrábění

Elektroerozivní obrábění je nekonvenční způsob obrábění, kdy mezi nástrojem a obrobkem dochází k elektrickým, popř. obloukovým výbojům. Úběru materiálu dosahujeme elektrickými výboji mezi katodou (nástrojová elektroda) a anodou (obrobek) ponořenou do tekutého dielektrika. Mezi základní pojmy patří:

- **Elektrická eroze** – je fyzikální jev založený na odebírání malých částí materiálu účinkem tepelného a tlakového působení elektrických výbojů.
- **Dielektrikum** – je kapalina s vysokým elektrickým odporem (solné roztoky, petrolej, strojní oleje) [9]

Velikost a tvar kráteru závisí na:

- energii výboje
- době trvání výboje

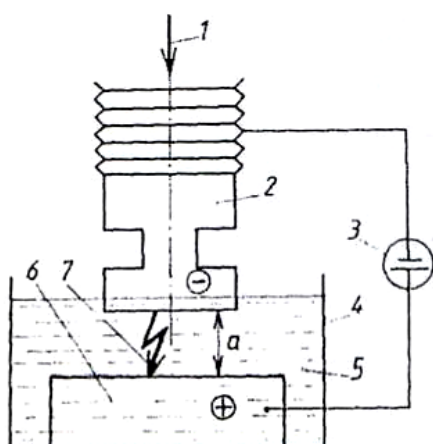
Velikost a tvar kráteru má vliv na:

- účinnost procesu obrábění
- jakost opracovaného povrchu
- rozměrovou přesnost obrobku

[9]

Mezi výhody EDM patří:

- možnost obrábění vodivých materiálů bez ohledu na jejich mechanické vlastnosti
 - velký rozsah pracovních parametrů – povrchy různých jakostí
 - výroba součástí složitých tvarů, snižuje pracnost výroby
 - na obrobek nepůsobí žádné mechanické zatížení
 - menší odpad než při konvenčních metodách
 - na hranách obrobků nezůstávají otřepy
 - snadná automatizace
 - jediná možná metoda při obrábění speciálních tvarů
 - snadná výroba nástrojových elektrod
- [9]



- 1 - směr posuvu nástrojové elektrody,
- 2 - nástrojová elektroda,
- 3 - generátor,
- 4 - pracovní vana,
- 5 - tekuté dielektrikum,
- 6 - obrobek,
- 7 - elektrický výboj,
- a - jiskrová mezera (GAP).

Obr. 4.16 Princip elektroerozivního obrábění [9]



V závislosti na druhu výboje (jiskra/oblouk), parametrů obrábění a zdrojů impulzního toku, lze rozlišit několik způsobů elektroerozivního obrábění.

- Elektrojiskrové
- Elektroimpulsní
- Elektrokontaktní
- Anodomechanické

[9]

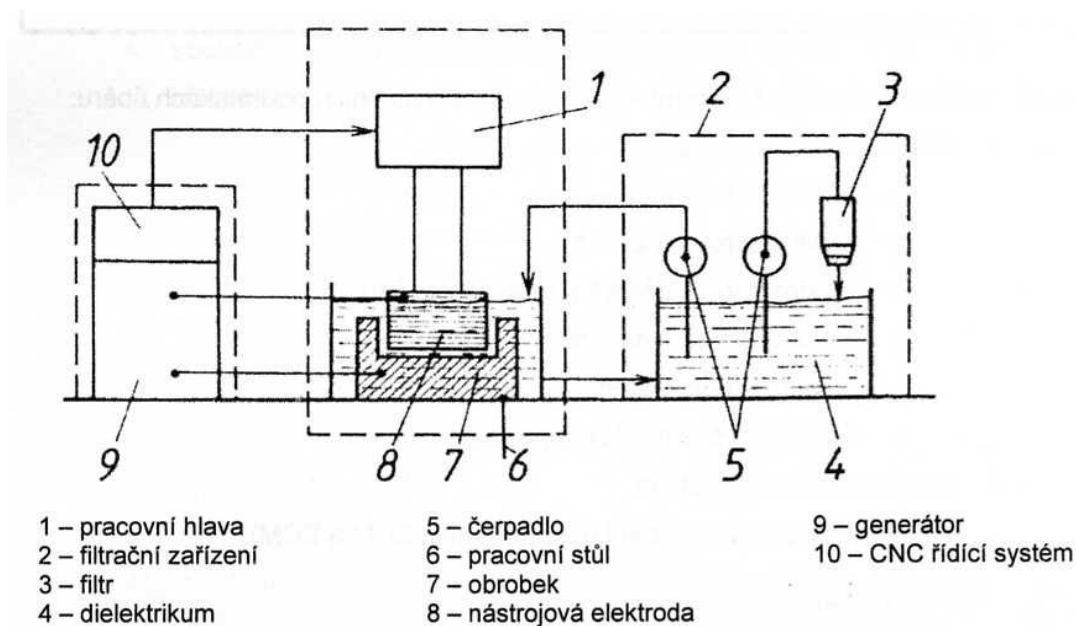
4.6.1 Elektrojiskrové hloubení

Je základním typem elektroerozivních metod obrábění a taky jednou z nejrozšířenějších. Uplatňuje se při vytváření tvarově složitých vnějších, ale zejména vnitřních ploch. Tato metoda je klíčovou technologií pro výrobu prvotřídních forem a lisovacích nástrojů pro výrobu plastových, skleněných či kovových součástí. Využívá se však taky k přímému obrábění přesných ploch. Další využití má metoda v odstraňování zalomených nástrojů, pro opravu opotřebovaných dutin a taky pro výrobu střížných nástrojů.

Parametry metody elektrojiskrového hloubení:

- pracovní napětí až 50V
- proud 0,5 až 320 A a více
- frekvence 50 až 105 Hz
- proudová hustota $10^8 \text{ A} \cdot \text{cm}^{-2}$
- úběr materiálu 100 až 25000 $\text{mm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$
- rychlost obrábění 0,01 až 0,1 $\text{mm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$
- čas nabíjení 10^{-2} až 10^{-5} s, čas vybíjení je 10^{-9} až 10^{-5} s
- přesnost $\pm 0,01$ ($\pm 0,005$)
- přesnost polohování 0,12 až 0,05 μm
 $\pm 3^\circ\text{C} \pm 3 \mu\text{m}$
- drsnost Ra: hrubování 6,3 μm
střední opracování: 2 až 6,3 μm
dokončování 0,5 až 2 μm , možné 0,08 až 0,3 μm
- vzdálenost mezi elektrodami (GAP) 0,01 až 0,8 (0,013 až 0,13)mm

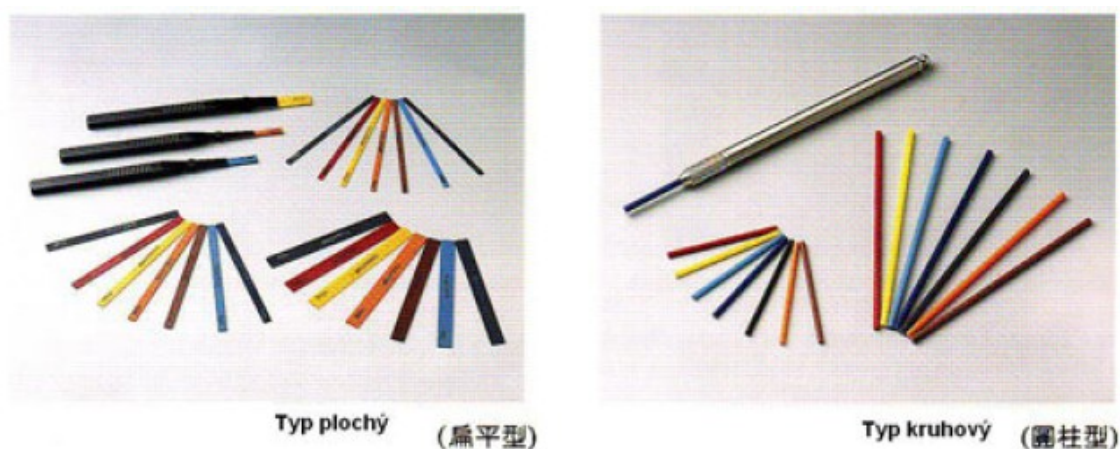
[9]



Obr. 4.17 Schéma stroje pro elektrojiskrové hloubení [9]

4.7 Leštění

Leštění je u dané součásti prováděno na ploše po operaci elektrojiskrového hloubení. Tento proces je nutný pro zlepšení vzhledové kvality povrchu po lisování. Při leštění jsou použity brusné kameny a následně keramická skelná vlákna (obr.4.18). Při této operaci ručního leštění je nutné dodržet hlavní zásadu, aby pohyb vlákna směřoval kolmo na dělicí rovinu. Při nedodržení této zásady se pak výlisek zasekává ve formě a nelze jej snadno vyjmout.



Obr. 4.18 Keramická skelná vlákna



Leštění je operace obrábění, kterou se odstraňují drobné nerovnosti, docílí se zrcadlový lesk a vysoká jakost obrobeneho povrchu (až $R_a=0,1 \mu\text{m}$). Oproti broušení se jedná o malý úběr materiálu a dochází proto pouze k odstranění vrcholků nerovností po předchozím obrábění. Leštění lze provádět buď ručně nebo strojně. [4]

Mechanické leštění – materiál obrobku je odebírán mechanickým způsobem zrn tvrdých brousících materiálů, která jsou pevně uchycena na leštícím nástroji, nebo volně nasazena mezi nástroj a obrobek. [4]

Chemické leštění – je založeno na úběru materiálu chemickým působením vhodného roztoku na povrch obrobku. Dochází k chemické reakci, při které je nejdříve odebírán materiál na vrcholcích nerovností povrchu. [4]

Elektrochemické leštění – úběr materiálu se děje elektrochemickým rozpouštěním vrcholků nerovností povrchu. Obráběná součást je anoda ponořená do vhodného elektrolytu mezi vhodně umístěné katody. [4]

5 Stávající postup vrtání dna

Při starém způsobu vrtání dna bylo využito stroje s digitálním odměřováním. Při této operaci je nutné ručně najet na požadovanou pozici. Přesné najetí však vyžaduje delší čas. Další časová ztráta byla zaznamenána při vrtání děr pro vyhazovače. Každá z daných děr má dva průměry, kvůli vyhazovačům a jejich opotřebení. Vyhazovače se tak třou pouze na krátkém úseku přesného rozměru a tím tak chodí velmi lehce. Pro přesnou polohu děr tak musí pracovník na každou pozici najet třikrát. Navrtávák, kterým si pracovník navrtá důlky pro další vrtání, vrtákem o větším průměru vyvrtá jednu díru a dokončí dalším vrtákem o menším průměru. Tato operace je velmi zdlouhavá.

5.1 Stroj

Aktuální výroba se provádí na stroji Bernardo KF 50 s digitálním odměřováním vrtačko-frézka (obr. 5.1). Tento stroj má velmi klidný chod, díky broušeným převodovým ozubeným kolům běžícím v olejové lázni. Je stabilně proveden a vyroben z litiny. Má pravý i levý chod pro závitování a rybinové vedení na všech tří osách.

Technické parametry stroje:

- Průměr vrtání do ocele : **35 mm**
- Průměr vrtání do litiny : **40 mm**
- Řezání závitů max. : **M 16**
- Vyložení : **320 mm**
- Hlava vřetene - rozsah výkyvu : **90°**
- Počet ot. vřetene : **(8) 115- 1750 ot/min**
- Kužel vřetene : **MK 4**
- Zdvih pinoly : **125 mm**
- Velikost stolu : **800 x 240 mm**
- Výškový posun fréz. hlavy : **350 mm**
- Dráha pojezdu - podélný (x) : **400 mm**
- Dráha pojezdu - příčný (y) : **230 mm**
- Dráha pojezdu - vertikální (z) : **420 mm**
- Výkon motoru S1 100% : **0,85 / 1,5 kW**
- Příkon motoru S6 40% : **1,1 / 2,2 kW**
- Rozměry: **1140 x 930 x 2100 mm**
- Hmotnost : **560 kg**

Obr. 5.1 Stroj Bernardo KF 50

5.2 Nástroje

Pro vrtání se ve firmě SKD používají klasické šroubové vrtáky s válcovou stopkou od firmy WNT [10]. Část z katalogu je znázorněna na obr.5.2. Tyto vrtáky mají zvýšenou tepelnou odolnost. Je využíváno tří typů vrtáků:

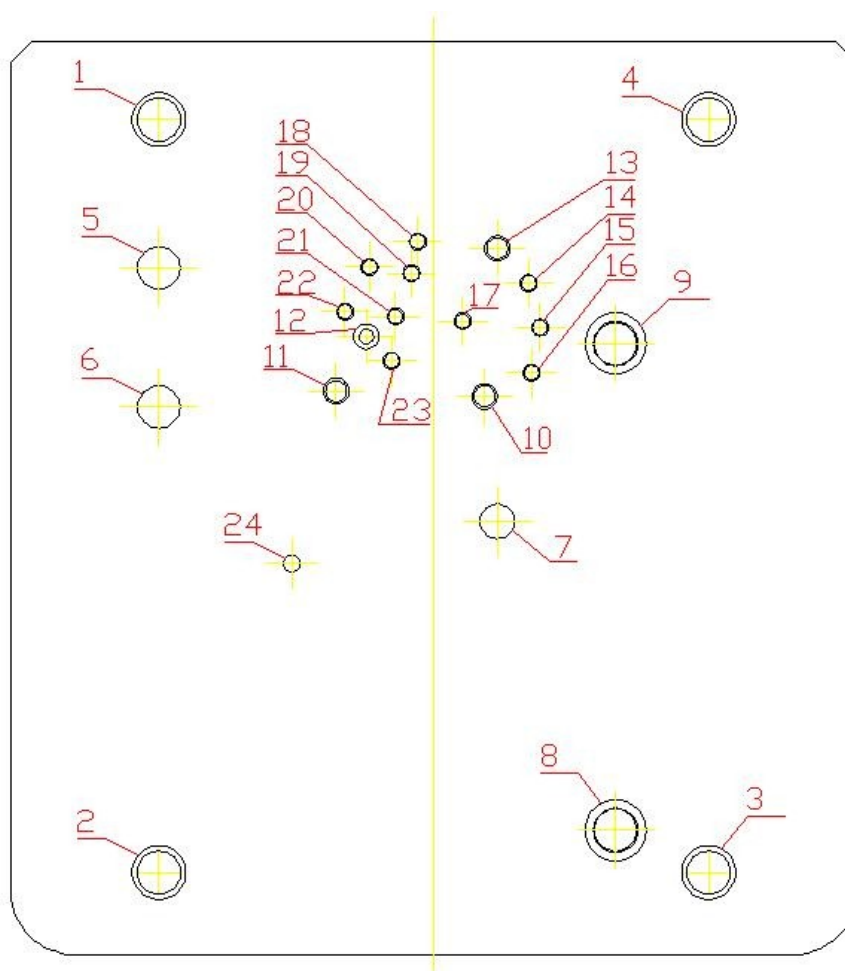
Vysokovýkonné vrtáky se šroubovici, DIN 1897. extra krátké

Vrtáky ve šroubovici, DIN 340, dlouhé

Vrtáky ve šroubovici, DIN 1869, extra dlouhé, řada 1

5.3 Řezné podmínky

Pro nástroje WNT jsou v katalogu produktů [10] určeny doporučené řezné podmínky jednotlivých vrtáků a jmenovitých průměrech. Firma SKD tyto podmínky respektuje a nastavuje. Nastavení otáček je tedy přesné, ale dodržení posuvové rychlosti není při ručním vrtání možné. Proto se nástroj rychleji opotřebuje. Jelikož na součásti KERN je mnoho děr různých průměrů, je potřeba upravovat řezné podmínky. Proto je vytvořena tabulka řezných podmínek pro každou díru (tab.5.3). Tyto hodnoty odpovídají reálným hodnotám užitým při stávající výrobě. Na obr. 5.3 jsou znázorněny a očíslovány všechny díry a do tabulky 5.2 byly vypsány hloubky děr o jmenovitých rozměrech. Umístění včetně všech kót je znázorněno v příloze č.1, kde je k nahlédnutí kompletní technická dokumentace. Při vrtání vyhazovačů se větší průměry děr (I.části) vrtají na hotový rozměr, ale menší průměry (II.části) se vrtají menší, kvůli přesnosti, kdy se ve finální fázi řezou drátovou elektrodou.



Obr. 5.3 Očíslování děr



Tab. 5.2 Rozměry daných děr

	I.část díry		II.část díry	
	ØD díry	hloubka od povrchu	ØD díry	hloubka od povrchu
označení	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
1,2,3,4	10,2	30	-	-
5	10	112	-	-
6	10	60	-	-
7	8,2	50	-	-
8	10,5	15	10	50
9	10,5	15	10	112
10	6	100	4	125
11	6	66	4	90
12	6	42	2,5	95
13	6	100	4	125
14,15,16	4	100	2,5	125
17,18	4	90	2,5	115
19,20,21,22,23	4	83	2,5	110
24	4	80	-	-

Do tab. 5.2 jsou zaneseny časy obrábění. Jsou zde zanedbány časy pro navrtávání děr malých průměrů. Tyto časy při ručním vrtání byly konzultovány s pracovníkem firmy SKD. Proto jsou vypočteny pouze časy obrábění, kde lze předpokládat přibližné dodržení posuvů a tím lze určit čas obráběcích procesů. Pro vypočtení času použijeme empirický vzorec pro výpočet posuvové rychlosti $v_f = f \cdot n$ [mm.min⁻¹]. Po získání posuvové rychlosti pak lze snadno získat čas z podílu hloubky řezu a posuvové rychlosti.

$$t = \frac{h}{v_f}$$

kde	t	–	čas obrábění	[min]
	h	–	hloubka vrtání	[mm]
	v_f	–	posuvová rychlost	[mm/min]

Experiment pro určení koeficientu skutečné doby řezu

Při výpočtu doby vrtání bylo zanedbáno vyjíždění a najíždění nástroje z díry kvůli odvodu třísek. Proto byl vytvořen jednoduchý experiment, kde bylo vrtáno do hloubky 50mm vrtákem o $\varnothing 10\text{mm}$. Koeficient byl určen podílem skutečného času a vypočítaného. Byly provedeny dva experimenty s vrtákem o $\varnothing 10\text{mm}$ do hloubky 50mm (k1) a vrtákem o $\varnothing 5\text{mm}$ do hloubky 70mm (k2). Tyto koeficienty jsou závislé na mnoha faktorech, kde nejdůležitějším je zkušenost pracovníka. Koeficientem k1 bude násobeno vrtání vrtáky B,C,D,E a koeficientem k2 pak vrtání vrtáky F,G,H. Konečné časy jsou v tab. 5.3 zaneseny pod názvem skutečný čas obrábění.

$$k1 = 1,6$$

$$k2 = 2,2$$

Tab. 5.3 Časy obrábění

číslo díry	část díry	vrták	otáčky	posuv	posuvová rychlost	hloubka řezu	čas obrábění	čas obrábění	skutečný čas obrábění
			[1/min]	[mm/ot]	[mm/min]	[mm]	[min]	[s]	[s]
1,2,3,4	I	C	800	0,2	160	30	0,75	45	72
8,9	I	B	800	0,2	160	15	0,1875	11,25	18
9	II	D	800	0,2	160	97	0,60625	36,375	58,2
8	II	D	800	0,2	160	35	0,21875	13,125	21
5	I	D	800	0,2	160	112	0,7	42	67,2
6	I	D	800	0,2	160	60	0,375	22,5	36
7	I	E	1000	0,16	160	50	0,3125	18,75	30
10	I	F	1250	0,13	162,5	100	0,615385	36,92308	81,23077
11	I	F	1250	0,13	162,5	66	0,406154	24,36923	53,61231
12	I	F	1250	0,13	162,5	42	0,258462	15,50769	34,11692
13	I	F	1250	0,13	162,5	100	0,615385	36,92308	81,23077
14,15,16	I	G	2000	0,1	200	100	1,5	90	198
17,18	I	G	2000	0,1	200	90	0,9	54	118,8
19,20,21,22,23	I	G	2000	0,1	200	83	2,075	124,5	273,9
24	I	G	2000	0,1	200	80	0,4	24	52,8
10,13	II	G	2000	0,1	200	25	0,25	15	33
11	II	G	2000	0,1	200	24	0,12	7,2	15,84
12	II	H	3200	0,07	224	53	0,236607	14,19643	31,23214
14,15,16,	II	H	3200	0,07	224	25	0,334821	20,08929	44,19643
17,18	II	H	3200	0,07	224	25	0,111607	6,696429	14,73214
19,20,21,22,23	II	H	3200	0,07	224	27	0,120536	7,232143	15,91071

Celkový skutečný čas obrábění [s]:	1351,002
Celkový skutečný čas obrábění [min]:	22,5167



Jednou z nejpomalejších operací je však najíždění nástrojů na danou pozici, kde je nutné přesně určit polohu vrtání. Další z nevýhod ručního vrtání je doba výměny nástroje. Tyto dva faktory při výrobě děr podstatně snižují efektivitu. Součást KERN byla vyrobena pouze v jednom kusu, avšak firma produkuje ročně okolo 110 forem. Každá z nich je složena z více kusů. Proto operace vrtání je jednou podstatných operací pro zvýšení efektivitu.

Vrtání na stávajícím stroji Bernardo KF 50 však bude vhodné použít při vrtání bočních děr pro chlazení a dalších závitů, případně startovacích děr pro řezání drátovou metodou.

Celkový čas vrtání určený pracovníkem při ručním vrtání včetně přejezdů: 150min

6 Nově navržený postup vrtání dna

Při nově navrženém postupu vrtání dna bude brán největší zřetel na zrychlení času pro najíždění a výměny nástroje. To bude dosaženo volbou nového CNC stroje. Ten zaručí tři hlavní výhody pro tuto změnu. Firma SKD vlastní několik velkých CNC frézovacích center, proto by nebyl problém využít je i pro vrtání. Ty jsou však velmi vytíženy, proto je složité zadávat na ně další práci. Pokud by však čas byl krátký, mohlo by najít uplatnění této bakalářské práce. Součást KERN se bude upínat dnem vzhůru kvůli frézování. Proto do celkového času nebude započítán čas upínání.

6.1 Stroj

Jako nově navržený stroj je OKUMA MU-500VA-L (obr.6.1). Toto Japonské 5-osé frézovací CNC centrum je charakteristické osvědčenou a dlouhodobě vysokou tuhostí konstrukce, která je plně konstruována pomocí 3D-CAD a kontrolována MKP analýzou. Pro výrobu je použita vysoce jakostní litina s žebrováním pro eliminaci vibrací. Stroje OKUMA dosahují vysokých posuvových rychlostí, výbornou akcelerací a z toho plynoucí zkracování obráběcích časů při zachování vysoké přesnosti. A,C osa „kolébka“ je také velmi tuhá a přesná a to zajišťuje velmi přesné 5-osé kontinuální obrábění.



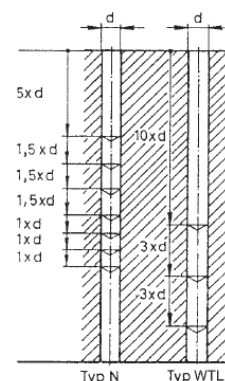
Obr. 6.1 OKUMA MU-500VA-L

6.2 Nástroje

Pro návrh nové technologie nebude nutná výměna nástrojů. Proto budou znovu použity nástroje z produkce firmy WNT stejných parametrů. Tyto nástroje jsou vyrobeny z kvalitních rychlořezných ocelí. Obzvláště při vrtání dlouhých děr je ideální využití vrtáků WNT typu WTL, kvůli dobrému odvodu třísek. Stroj tak nemusí často vyjíždět z díry a proto je čas obrábění na minimum. Na obr.6.2 je znázorněn rozdíl vyjíždění mezi normálním profilem drážky a typem WTL.



Četnost odstraňování třísek při vrtání hlubokých otvorů

- Špička vrtáku musí být dostatečně chlazena
- Použitím vrtáku s plochým profilem drážky (typ WTL) se odvod třísek značně zlepší
- Pro extrémně hluboké otvory, nebo při horizontálním vrtání doporučujeme používat vrtáky s chladicími kanálky pro přívod chladicího média.



Obr. 6.2 Četnost odstraňování třísek při vrtání hlubokých otvorů [10]

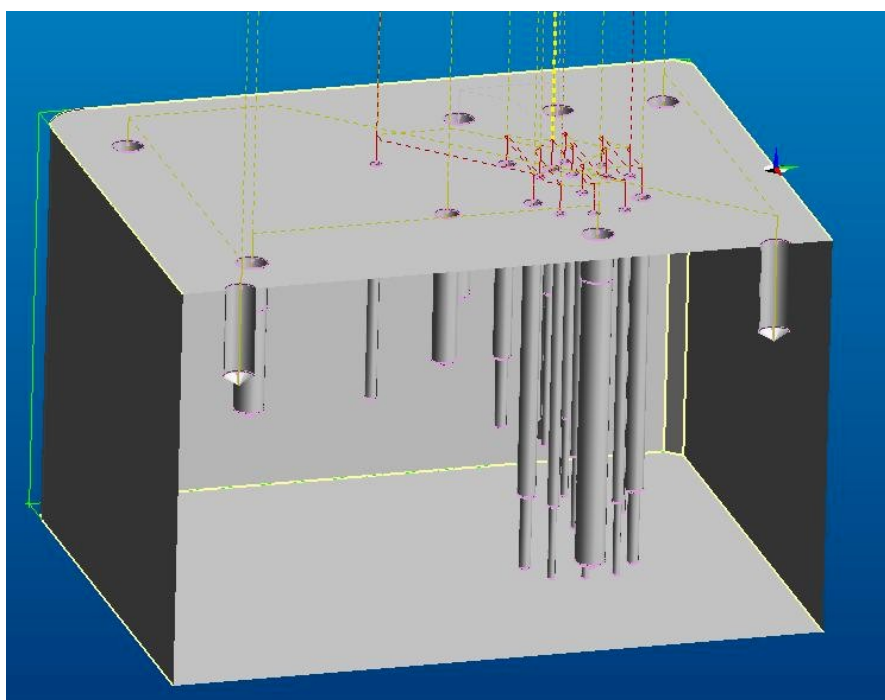
Seznam použitých nástrojů bude stejný jako při ručním vrtání v tab.5.1. Na obr. 6.3 je znázorněna část z katalogu WNT [10] s extra dlouhými vrtáky s plochým profilem drážky.

nad 10xD						Hlavní a vedlejší použití				
WTL	130°		h8	DIN 1869	HSS Řada 1 10 235 ...	HSS Řada 2 10 245 ...	HSS Řada 3 10 255 ...	Ocel	Nerez	Litina
								6-22	8	12-22
WTL	130°		h8	DIN 1870	HSS Řada 1 10 305 ...	HSS Řada 2 10 315 ...		Ocel	Nerez	Litina
								6-22	8	12-22

Obr. 6.3 Vrtáky extra dlouhé typ WTL [10]

6.3 Řezné podmínky

Při vrtání na počítačově řízených strojích je velkou výhodou dodržení všech zadaných řezných podmínek, oproti ručnímu vrtání. Další podstatnou výhodou je přesnost polohy děr a rychlost při posunu na jinou pozici. Nástroj bude chlazen procesní kapalinou. Pro přesné určení času obrábění včetně všech přejezdů jsem využil program Edgecam, kde jsem nasimuloval obrábění včetně všech použitých nástrojů a přejezdů. Do programu byly zadány všechny řezné podmínky získané z doporučených hodnot pro dané nástroje. Na obr.6.4 je vyobrazeno vrtání z programu Edgecam.



Obr.6.4 Vyobrazení z vrtání v programu Edgecam



roz1.1: fanuc3x.mcp: 00:23:03.89

- 1 Coolant : Off
- 2 P0 T1 Nástroj : Vrták →
- 3 Coolant : Flood
- 4 Spindle : CLW
- 5 Díra : Vrtat →
- 6 Coolant : Off
- 7 Spindle : Stop
- 8 Do výměny
- 9 P0 T0 Nástroj : Vrták →
- 10 Coolant : Flood
- 11 Spindle : CLW
- 12 Díra : Vrtat →
- 13 Díra : Vrtat →
- 14 Coolant : Off
- 15 Do výměny
- 16 Nástroj : Vrták →
- 17 Rychloposuv
- 18 Coolant : Flood
- 19 Spindle : CLW
- 20 Díra : Vrtat s odtrhem →
- 21 Díra : Vrtat s odtrhem →
- 22 Coolant : Off
- 23 Spindle : Stop
- 24 Do výměny
- 25 P0 T0 Nástroj : Vrták →
- 26 Coolant : Flood
- 27 Spindle : CLW
- 28 Díra : Vrtat s odtrhem →
- 29 Coolant : Off
- 30 Spindle : Stop
- 31 Do výměny
- 32 P0 T0 Nástroj : Vrták →
- 33 Coolant : Flood
- 34 Spindle : CLW
- 35 Díra : Vrtat s odtrhem →
- 36 Coolant : Off
- 37 Spindle : Stop

Nástroj A – středící vrták

Navrtávání děr č.10-24

Nástroj B – vrták Ø 10,5mm

Vrtání díry č.8 – I.část

Vrtání díry č.9 – I.část

Nástroj D – vrták Ø 10mm

Vrtání děr č.5,6 – I.části

Vrtání děr č.8,9 – II.části

Nástroj C – vrták Ø 10,2mm

Vrtání děr č.1-4

Nástroj E – vrták Ø 8,2mm

Vrtání díry č.7

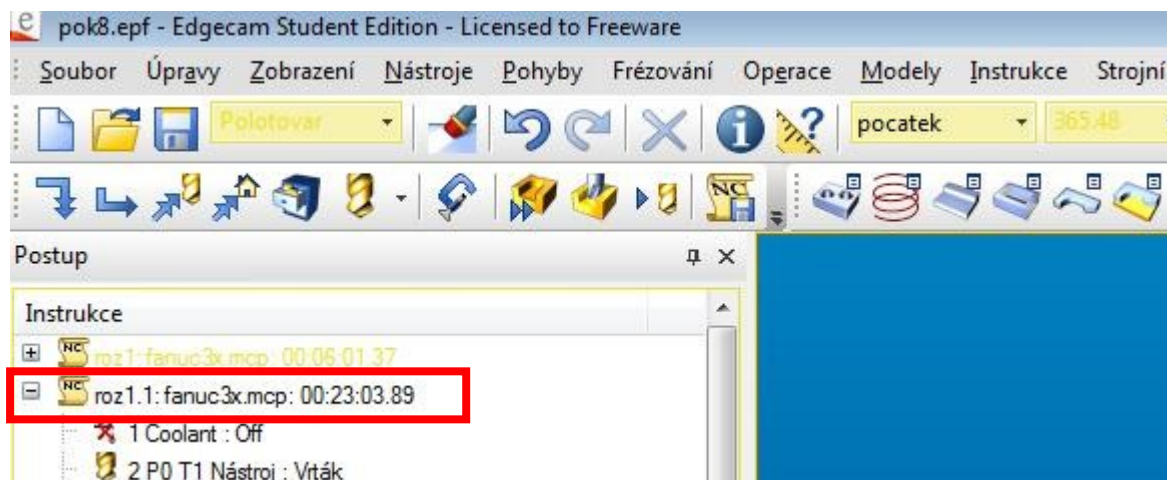


38 Do výměny		Nástroj F – vrták Ø 6mm
39 P0 T0 Nástroj : Vrták	→	
40 Coolant : Flood		
41 Spindle : CLW		
42 Díra : Vrtat s odtrhem	→	Vrtání děr č.10,13 – I.části
43 Coolant : Off		
44 Rychloposuv		
45 Coolant : Flood		
46 Spindle : CLW		
47 Díra : Vrtat s odtrhem	→	Vrtání díry č.11 – I.část
48 Zavést operace : Obrábění děr pr		
49 Coolant : Flood		
50 Spindle : CLW		
51 Díra : Vrtat s odtrhem	→	Vrtání díry č.12 – I.část
52 Coolant : Off		
53 Spindle : Stop		
54 Do výměny		
55 P0 T0 Nástroj : Vrták	→	Nástroj G – vrták Ø 4mm
56 Rychloposuv		
57 Coolant : Flood		
58 Spindle : CLW		
59 Rychloposuv		
60 Díra : Vrtat s odtrhem	→	Vrtání děr č.14,15,16 – I.části
61 Díra : Vrtat s odtrhem	→	Vrtání děr č.17,18 – I.části
62 Díra : Vrtat s odtrhem	→	Vrtání děr č.19,20,21,22,23 – I.části
63 Zavést operace : Obrábění děr pr		
64 Díra : Vrtat	→	Vrtání díry č.24
65 Coolant : Off		
66 Do výměny		
67 Nástroj : Vrták	→	Nástroj H – vrták Ø 2,5mm
68 Rychloposuv		
69 Coolant : Flood		
70 Spindle : CLW		
71 Díra : Vrtat	→	Vrtání děr č.12,14,15,16,17,18,19,20, 21,22,23,
72 Do výměny		

Na technologickém stromě nahoře je vypsán vygenerovaný postup z programu Edgecam. Do tohoto postupu byly zaneseny všechny řezné podmínky z tab.5.3. Jedná se o stejné řezné podmínky nastavené ve stávajícím postupu vrtání, který je popsán v kapitole 5.



Výsledný celkový čas vygenerovaný programem Edgecam je znázorněn na obr.6.5.



Obr.6.5 Vygenerovaný čas

Z obr.6.5 je patrný přesný nasimulovaný čas. V praxi se pravděpodobně bude ještě upravovat, ale pro tuto bakalářskou práci bude tento čas brán jako platný.

Celkový čas vrtání dna vygenerovaný simulací v Edgecam : 23,04min
--

7 Technicko-ekonomické zhodnocení

Pro technicko-ekonomické zhodnocení bude počítáno pouze s časem ušetřeným díky využití CNC frézovacího centra. Časový rozdíl jednotlivých technologií je brán pouze pro součást KERN. V této kapitole bude přepočítána úspora pro roční náklady na vrtání. V této práci jsou zachovány stejné nástroje ve stávající i nové technologii, protože vrtáků pro extra dlouhé díry není mnoho a není mezi nimi velký rozdíl. Proto je práce zaměřena na úsporu času při rozdílu dvou technologií.

Celkový čas obrábění stávající metodou:	150 [min]
Celkový čas obrábění novou metodou:	23 [min]
Celkový časový rozdíl výroby:	127 [min]

**Hodinové sazby:**

Při práci na klasické vyvrtávací frézce nebude nutné počítat s hodinovou sazbou tohoto stroje. Tento stroj není plně vytížen a proto bude vhodné dále se zabývat pouze hodinovou sazbou obsluhy.

Hodinová sazba obsluhy stroje Bernardo KF 50: **150 Kč/hod**

Pro objektivní posouzení nákladů při výrobě se musí počítat s hodinovou sazbou celého CNC stroje. V této částce je započítán plat obsluhy i leasingu, protože firma SKD vlastní velmi nové stroje, které stále spadají do splátek. Se sazbou stroje je počítáno kvůli velké vytíženosti. Na tyto stroje je velký tlak a proto při započítání pouze sazby pracovníka by se mohl výsledek zdát jednoznačný.

Hodinová sazba CNC stroje OKUMA MU-500VA-L : **650 Kč/hod**

Náklady na celkové vrtání dna:

Mezi náklady na celkové vrtání nebude brán zřetel na ceny nástroje, protože byly použity všechny stejné. Proto rozdíl cen nástrojů bude nulový a tato práce byla zaměřena pouze na rozdíl časový a tedy náklady s tím spojené.

Cena celkového vrtání dna na stroji Bernardo KF 50: $2,5\text{hod} * 150\text{Kč/hod} = \underline{\underline{375\text{Kč}}}$

Cena celkového vrtání dna na CNC stroji OKUMA: $0,38\text{hod} * 650\text{Kč/hod} = \underline{\underline{250\text{Kč}}}$

Rozdíl nákladů spojených s vrtáním ve prospěch CNC stroje: **$375 - 250 = 125\text{Kč}$**

Tento rozdíl v korunách se týká pouze jedné součásti. Vezme-li se v úvahu roční produkce **110 forem** a průměrný počet vrtaných **dílů 3** na jednu formu, bude tato částka citelná.

Celková roční úspora: $110\text{forem} * 3\text{ díly} * 125\text{Kč} = \underline{\underline{41250\text{Kč}}}$



8 Závěr

V této bakalářské práci s cílem zefektivnění výroby bylo pro tento účel vybráno vrtání dna součásti. Byl popsán stávající způsob výroby a nově navržený. Oba způsoby byly porovnány v technicko-ekonomickém zhodnocení a výsledkem byla úspora asi 41 000Kč za jeden rok. Nově navržený způsob však bude pro firmu těžce realizovatelný kvůli množství práce na CNC strojích. Proto firma řeší všechny jiné obrábění realizovatelné na jiných strojích stávajícím způsobem.

V úvahu však byla vzata skutečnost, že součást KERN musí být upnuta na stroj CNC v poloze dnem vzhůru. V této poloze je taky prováděno vrtání dna a proto operace vrtání už nevyžaduje další ustavování. Čas 23 minut je tak koncový a CNC stroj tak bude vytížen pouze o 23 minut déle.

Na součásti je mnoho dalších bočních a šikmých děr. Proto nebude potřeba vyřazení stávajícího vrtacího stroje ani výpovědi pracovníka. Stroj Bernardo KF -50 však může být využit na odjehlování hran a další vedlejší vrtání, např. pro chlazení.

Výsledkem této práce je tedy doporučení pro firmu SKD Bojkovice využít upnutí každé součásti v CNC stroji a vrtat všechny díry v dané poloze, protože čas na množství děr je poměrně krátký a vytíženost stroje se nezvedne mnoho v porovnání s finanční úsporou.



Seznam použité literatury

- [1] SKD Bojkovice [online]. 2000 [cit. 2011-04-18]. Dostupné z WWW:
www.skd-bojkovice.cz
URL: < <http://www.skd-bojkovice.cz/cs/o-nas-predstaveni-spolecnosti.php> >
- [2] Böhler [online]. 2009 [cit. 2011-04-19]. Dostupné z WWW: www.bohler.cz
URL: < http://bohler.cz/czech/nastrojove_oceli_za_studena.php >
- [3] BRYCHTA, Josef, et al. *Technologie II - 2.díl*. Ostrava : VŠB-TUO, 2008.
150 s. ISBN 978-80-248-1822-1.
- [4] ŘASA, Jaroslav; GABRIEL, Vladimír. *Strojírenská technologie 3 :
Metody, stroje a nástroje pro obrábění- 1.díl*. Praha 6 : Scientia s.r.o., 2000. 256s.
ISBN 80-7183-207-3.
- [5] MAREK, Jiří; UČEŇ, Oldřich. *CNC OBRÁBĚCÍ STROJE*. Ostrava :
VŠB-TUO, 2010. 108 s. ISBN 978-80-248-2329-4.
- [6] SADÍLEK, Marek. *CAM Systémy v obrábění I*. II.doplněné vydání.
Ostrava : VŠB-TUO, 2010. 143 s. ISBN 978-80-248-2278-5.
- [7] HLUCHÝ, Miroslav. *Strojírenská technologie 1.-2.díl :
Metalografie a tepelné zpracování*. Praha 6 : Scientia s.r.o., 1997. 165 s.
ISBN 80-7183-034-8.
- [8] ŘASA, Jaroslav; POKORNÝ, Přemysl; GABRIEL, Vladimír.
*Strojírenská technologie 3 - 2.díl : Obráběcí stroje pro automatizovanou výrobu,
fyzikální technologie obrábění*. Praha 6 : Scientia s.r.o., 2001. 221 s.
ISBN 80-7183-227-8.



- [9] SADÍLEK, Marek. *Nekonvenční metody obrábění I.* 1. Ostrava : VŠB-TUO, 2009. 152 s. ISBN 978-80-248-2107-8.
- [10] *WNT* [online]. 2011 [cit. 2011-05-04]. HSS vrtáky. Dostupné z WWW: www.wnt.com
URL: <http://www.wnt.com/servis_ke_stazeni_CSY_HTML.htm>.



Seznam příloh:

Příloha č.1: Technická dokumentace dílu KERN – List 1

Příloha č.2: Technická dokumentace dílu KERN – List 2

Poděkování:

Chtěl bych poděkovat panu řediteli firmy SKD Bojkovice Ing. Petrovi Kuchařovi za možnost vytvořit svou práci v této firmě a panu Ing. Jiřímu Kováři za odborné rady a spolupráci.

Dále chci poděkovat vedoucímu své bakalářské práce panu Ing. Jiřímu Kratochvílovi, Ph.D. za vedení, připomínky a pomoc při tvorbě této práce.